

平成25年度

JKA（オートレース）補助事業

二輪自動車のアシスト制御に関する報告書

平成26年3月24日

慶應義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科

教授 西村秀和

1. 二輪車用ドライビングシミュレータについて

平成 25 年度 JKA（オートレース）補助事業では，二輪自動車のアシスト制御について研究を実施した．写真 1 に示す二輪車用ドライビングシミュレータ（以下，バイクシミュレータ）を用いてライダーによるバイク操縦を行った．写真 1 には 3 画面ディスプレイ上にバイク走行の交通環境を呈示し，ライダーがこの画像に基づき適切な操縦を行う様子を示している．写真 2 は後方から撮影したシミュレータ実験装置の全体である．これを実現するバイクシミュレータの構成図を図 1 に示す．



写真 1 ライダーがシミュレータ上でバイクを操縦している様子



写真 2 バイクシミュレータ実験装置の全体

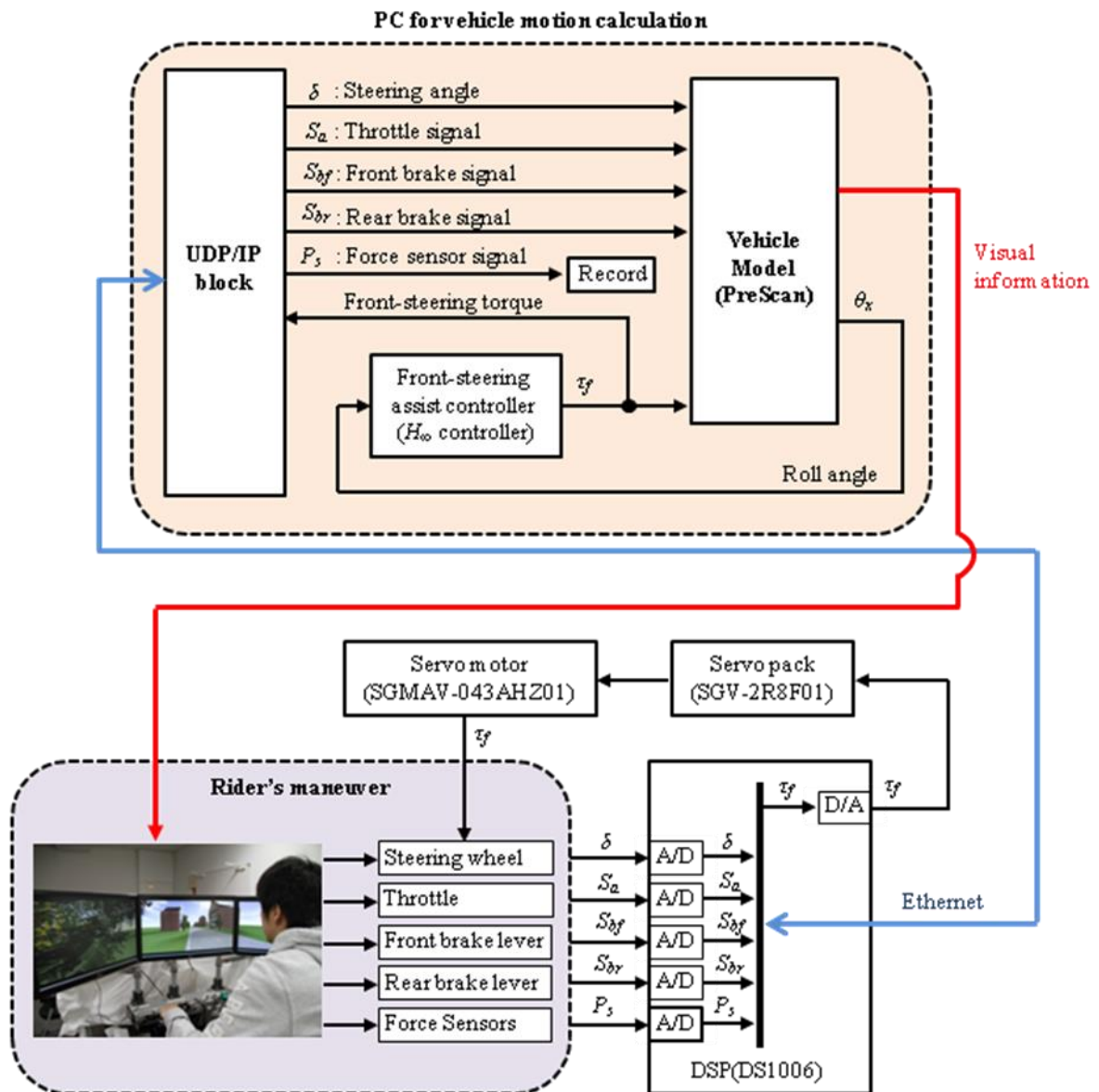


図1 バイクシミュレータ実験装置の構成

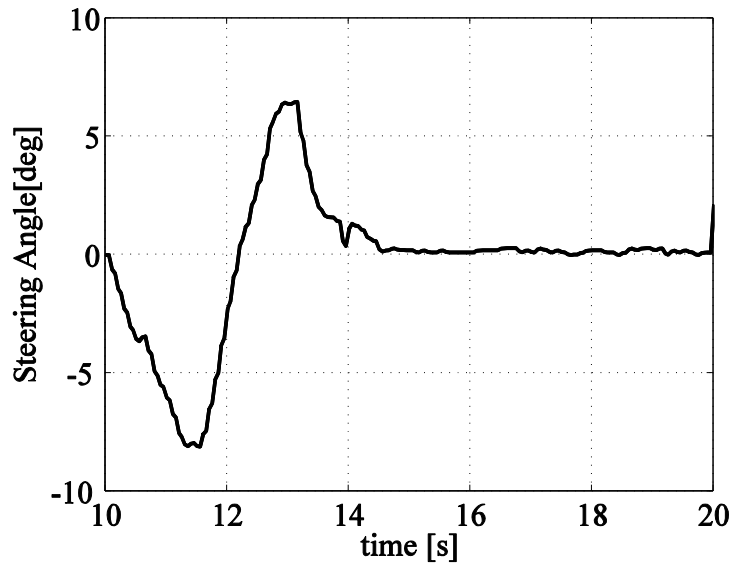
ライダーがバイクシミュレータ上でソフトウェア PreScan により画像として出力される走行環境に応じて二輪自動車を操作すると、ライダーの操縦情報が DSP (Digital Signal Processor) を介して Ethernet にて PreScan ブロックに取り込まれる。この情報に基づき、二輪自動車のダイナミクスが考慮された上で、走行環境下での走行状態を作りだし、その情報がライダーに画像として呈示される。ライダーは路面反力をハンドル軸に取り付けたモータからのトルクで感じることができ、実機に近い操舵感でバイクを操縦することができる。ライダー反力によりライダーの操縦とどのような相互作用を持つかを検証し、アシスト制御を施したことによる効果をバイクシミュレータで検証することを最終的な目標としている。

2. バイクシミュレータを用いた実験結果の一例

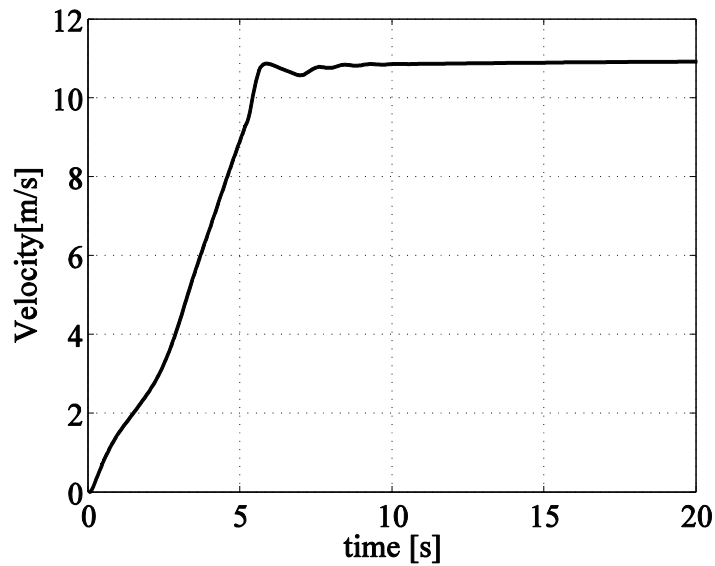
バイクシミュレータに用いた中型バイクを想定したバイクの諸元を以下に示す。表 1 に示した諸元をもつバイクに対して、操舵角がおよそ $\pm 5^\circ$ の正弦波となるようにライダーがハンドルを切ることで操舵を行った。バイクの応答としては、操舵角、車速、ロール角、ロール角速度、ヨー角、ヨー角速度、前輪タイヤ横力、路面からの反力を操舵系トルクに換算した値を取得した。操舵角は反時計周り（鉛直上方向まわりに右ねじの向き）を正としている。操舵角を検出するポテンシオメータに乗るノイズを除去するため、遮断周波数 5Hz の一次フィルタを用いた。他の応答結果は、PreScan 内に構築したバイクモデルから算出される。

表 1 バイクシミュレータに用いたバイクに関する諸元

Item	Character	Value	Unit
車両質量 (ライダー含む)	m	390	kg
車両ピッチ慣性モーメント	I_Y	35	kgm ²
車両ロール慣性モーメント	I_X	35	kgm ²
車両ヨー慣性モーメント	I_Z	43	kgm ²
車両重心高	h_c	0.6	m
前輪-車両重心位置距離	l_f	0.821	m
後輪-車両重心位置距離	l_r	0.679	m
前輪タイヤ剛性	k_{tf}	24248	N/rad
後輪タイヤ剛性	k_{tr}	35389	N/rad
タイヤ幅	w_t	0.17	m
タイヤ減衰比	ζ	0.8	-
トレール長	l_{tr}	0.07	m
キャスト角	λ	0.436	rad
操舵系フィルタ遮断周波数	a_f	31.4	rad/s
ハンドル慣性モーメント	I_h	0.66	kgm ²
ハンドルの減衰係数	c_h	7.80	Nms/rad
前輪サスペンション剛性	c_f	13000	N/m
前輪サスペンション減衰係数	d_f	1600	Ns/m
後輪サスペンション剛性	c_r	25700	N/m
後輪サスペンション減衰係数	d_r	2200	Ns/m
重力加速度	g	9.8	m/s ²



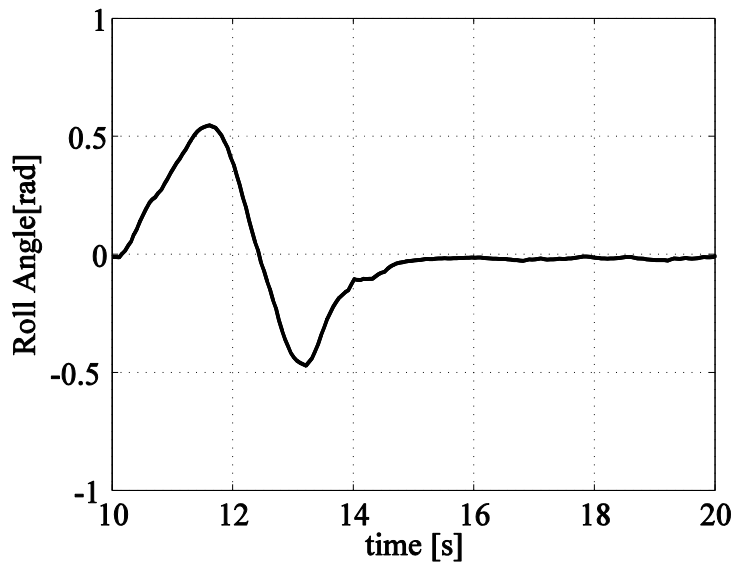
(a) 操舵角



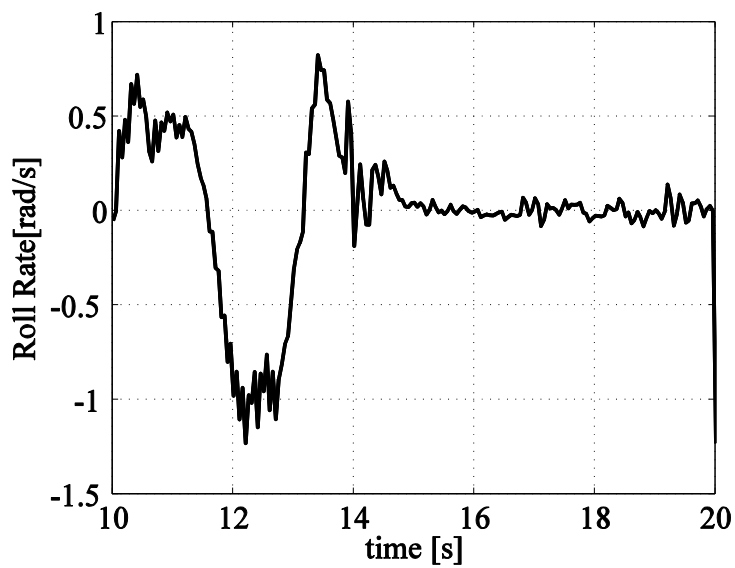
(b) 車速

図2 ライダーが与えた操舵角と PID 制御により与えた車速

図 2(b)に示されている車速は PID 制御によって 5 秒程度で 11.1 m/s (= 40 km/h) まで加速し、その後、一定値を保つ。時刻 10 秒でライダーにより時計まわりに操舵が切られると、図 3(a)に示すとおり、正の方向にロールし、最大で約 0.5 rad (=28 度) 程度のロール角をもつ。(ロール角は進行方向に対して右ねじの方向を正にとっている。) ロール角としては、若干大きめの値となっているが、このまま倒れ込んでいくような不安定な挙動はなく、キャブサイズモードとしては、安定している。



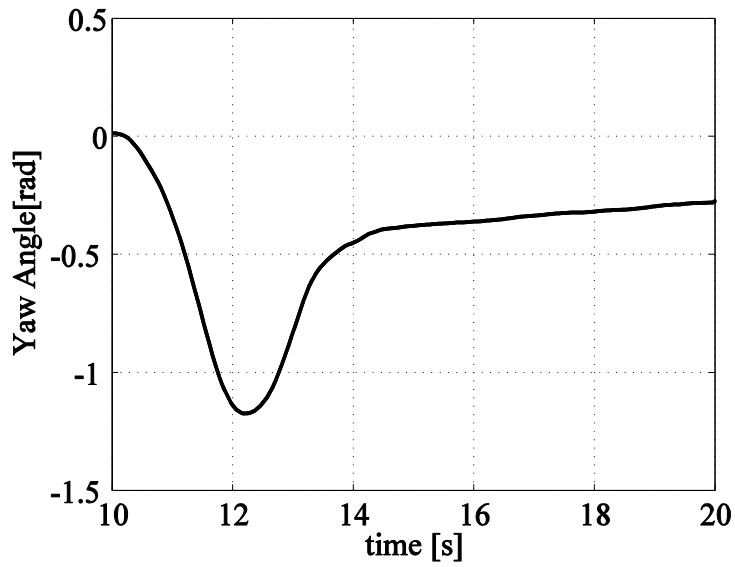
(a) ロール角



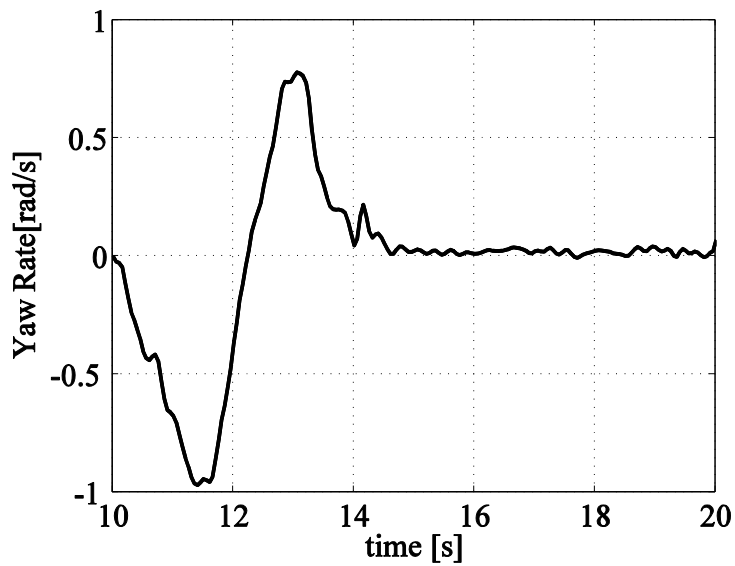
(b) ロール角速度

図3 ロール角とロール角速度応答

操舵角とヨー角速度には強い相関があることが知られているが、図 2(a)の操舵角と図 4(b)のヨー角速度は概形が良く似ており、相関があることがわかる。なお、ライダーに操舵によって誘発されたロール運動が終わった後、ヨー角度が 0 rad に収束していないが、これは、ライダーが PreScan で設定した道路を画面を見ながら操舵していることによるものである。



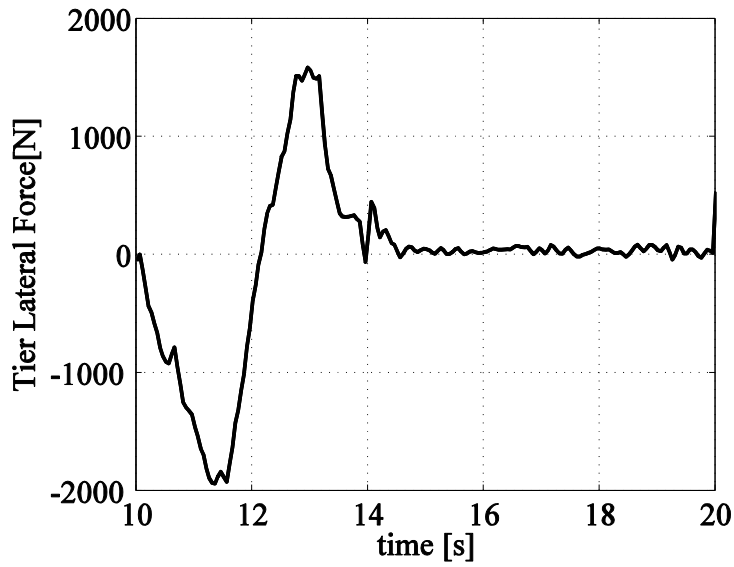
(a) ヨー角



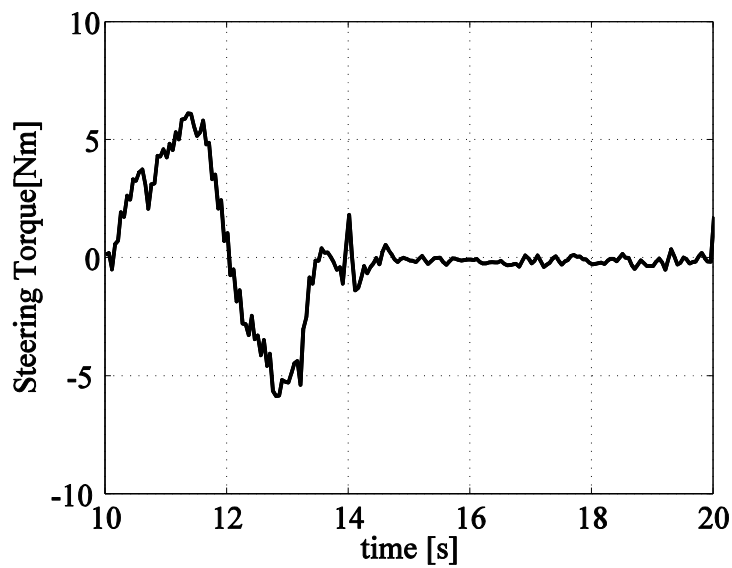
(b) ヨー角速度

図4 ヨー角とヨー角速度応答

図 5(a)に示す前輪タイヤ横力（路面反力）は，操舵開始と同時に y 軸の負の方向（バイク進行方向に対して，左から右方向）に生じている．操舵開始で，バイクは右旋回するため，これを安定化する方向に前輪にタイヤ力が発生していることがわかる．ライダーは図 5(b)に示す路面からの反トルクを感じながら操舵をしている．



(a) 前輪タイヤ横力 (路面反力)



(b) 路面からの反トルク (操舵系へのトルク入力)

図 5 前輪タイヤ横力 (路面反力) と路面からの反トルク (操舵系へのトルク入力)

3. まとめと今後の課題

バイクシミュレータを用いてライダーによるバイクの操縦を行った。ソフトウェア PreScan により出力される画像をライダーが見てバイクを操縦するための環境を整えた。ライダーの操縦情報は DSP (Digital Signal Processor) を介して Ethernet にて PreScan

ブロックに取り込み，この情報に基づき，二輪自動車のダイナミクスが考慮された上で，走行環境下での走行状態を作りだし，その情報がライダーに画像として呈示される．これにより，ライダーが路面反力をハンドル軸に取り付けたモータからのトルクで感じることができることを確認した．

また，平成 25 年 10 月 21 日～23 日に米国機械学会主催の **6th Annual Dynamic Systems and Control Conference (Palo Alto, USA)** ならびに，平成 25 年 11 月 10 日～13 日に **Bicycle and Motorcycle Dynamics 2013**（習志野）にて，当該研究で得られた成果の一部を含めた講演発表を行った．

今後は，ライダーの操縦をアシストするための制御を施す際に，ライダーと制御系の相互作用を検討し，設計した制御システムの効果をバイクシミュレータで検証することを目標としている．